

曲面状埋設型枠によるRC床版施工法の開発 ～アーチフォーム工法について～

Development of Composite RC Slab Construction with Curved Casting Form

西條 龍
Ryu SAIJO

川田建設(株)新事業開発室

内田 雅人
Masato UCHIDA

川田建設(株)名古屋支店
工務部

大樋 邦夫
Kunio OOTOI

協立エンジ(株)

徳岡 昭夫
Akio TOKUOKA

協立エンジ(株)
技術部

真空押出し成形法で製造した繊維補強モルタル板「KKフォーム」を曲面状に成形し、これを埋設型枠としてRC床版を施工するアーチフォーム工法は、型枠の解体、施工時の支保工が不要となるため、大幅な施工の合理化が図れる。本工法をRC床版に適用した際、型枠としての性能試験、構造体としての一体性・疲労耐久性試験検証および、実橋における現場施工を行った。その結果、合成床版としての所要機能を満足し、高い疲労耐久性を有することがわかった。また、実橋施工への適用においても現場作業の省力化に寄与できることが確認できた。

キーワード：床版、押出し成形埋設型枠、アーチ効果、疲労耐久性、輪荷重走行試験

1. はじめに

近年、橋梁建設工事において型枠工事の合理化・省力化が大きな課題となっている。また、熱帯雨林保護の観点からも、木製合板に代わる新しい型枠システムの開発が要望されており、プレキャストパネルを使用する埋設型枠工法などの開発が進められている。

川田建設では、真空押出し成形法で製造した繊維補強モルタル板「KKフォーム」をコンクリート構造物用の埋設型枠として開発し、多くの実績を有している。さらに、床版の高機能化・高耐久化・施工の合理化を目指して、曲面状の埋設型枠「アーチフォーム」を開発した。アーチフォーム工法は、アーチフォームの曲面形状によるアーチ効果を利用して、施工時においてコンクリートの死荷重・作業荷重を負担させるとともに、完成系においてコンクリートと一体化してコンクリート系合成床版を構築する工法である。

本論文では、本工法をRC床版に適用した際、型枠としての性能試験、構造体としての一体性、疲労耐久性の検証試験および、実橋における現場施工状況について述べるものである。

2. アーチフォームの性能試験

(1) 材料特性

KKフォームの配合を表1に示す。均質で表面が緻密な材料的特性から、耐塩害性・中性化抵抗性・凍結融解抵抗性などの耐久性に優れることが確認されている。型枠の強度特性は、一般に曲げ強度が $14\sim19\text{ N/mm}^2$ 、弾性係数は $18\sim20\text{ kN/mm}^2$ 程度である。さらに、型枠の裏面に特殊な凹凸形状を施すことにより、後打ちコンクリートとの一体性の確保を期待している（写真1）。

表1 KKフォームの配合（％）

結合材		配合水	繊維補強材	増粘材等
セメント	珪石粉末			
32.0	34.4	20.0	8.8	4.8



写真1 KKフォーム裏面形状

(2) 性能評価試験

床版の底版埋設型枠として施工するアーチフォームの耐荷性能を評価するため、単体のアーチフォームを用いて試験を実施した。荷重の載荷方法は、打設荷重などの等分布荷重および作業荷重などの1点集中荷重とした(写真2)。集中荷重の試験結果を図1に示す。最大荷重は、中央点載荷の場合が9.7 kNで、1/4点載荷の場合が5.4 kNである。また、同図中の実線は両端をピン構造とした平面骨組み解析結果であり、破壊直前の実験結果とほぼ一致している。

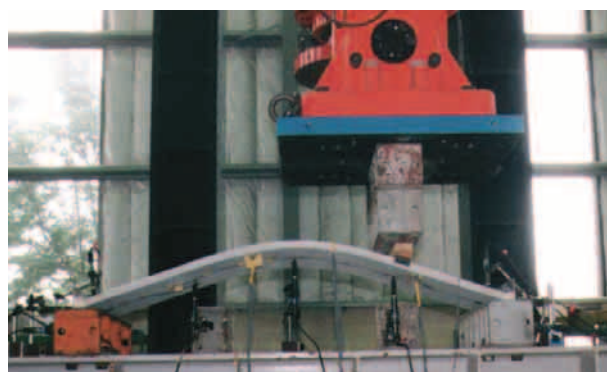


写真2 型枠の集中載荷試験

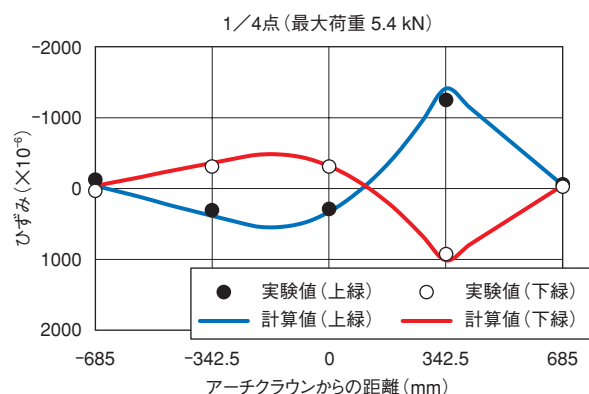
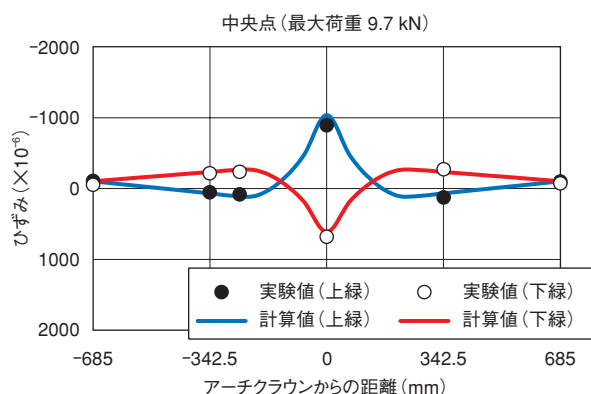


図1 型枠の集中載荷試験結果

3. 静的載荷試験および定点繰返し載荷試験

(1) 試験概要

アーチフォームを用いた床版の耐荷力および一体化を確認することを目的として、プレビーム合成桁橋の床版を想定した試験体により静的載荷試験および定点繰返し載荷試験を行った。

従来工法試験体(以下、従来タイプと記す)は、図2に示すように、桁間隔が1.5 mの桁に、床版厚180 mmとハンチ厚200 mmを有するRC床版がスタッドジベルを介して剛結したものとした。本工法試験体(以下、AFタイプと記す)については、アーチフォームを床版断面内に入れ、床版全厚を同じにした。

静的載荷は、床版に対して押抜きせん断が生じるような偏心載荷とし、荷重は破壊に至るまで単調増加させた。載荷ステップを図3に示す。載荷面積は、大型車後輪載

荷面寸法の60%で300 mm×120 mmとした。

また、定点繰返し載荷は、床版支間中央に衝撃を含むT活荷重(設計荷重)P=136 kNで、周期1/3秒の載荷速度で200万回まで繰り返して行った。載荷面積は静的載荷と同様とした(写真3)。



写真3 定点繰返し載荷状況

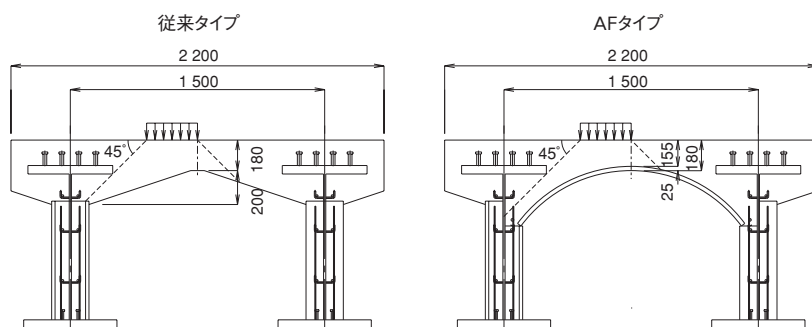


図2 試験体断面形状

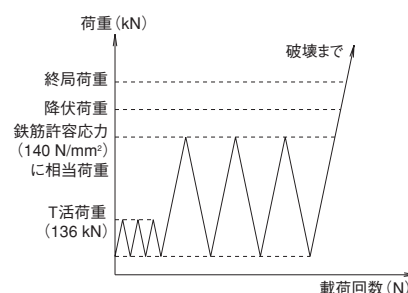


図3 静的載荷ステップ

(2) 静的載荷試験結果

a) ひび割れ状況

初期ひび割れ発生荷重について、従来タイプが240 kNで発生したのに比べ、AFタイプは約1.6倍大きい390 kNで生じた。また、鉄筋許容応力度に相当する荷重時では、AFタイプはひび割れ本数が少ない傾向があった。これは、アーチフォームが曲面形状であるため、応力の流れがスムーズに伝達できることとアーチフォームの引張強度が大きいためであると考えられる。

また、終局時の押し抜きせん断破壊時には、アーチフォームが床版より剥落することではなく、アーチフォームの圧縮破壊となった。一方、従来タイプは、ハンチの付け根部の陥没による押し抜きせん断破壊となり、破壊時にコンクリート片の剥落・落下が生じた。

b) ひずみ分布図

図4にAFタイプの断面内のひずみ分布を示す。ひび割れ発生前までは、直線に近い性状を示していることから、平面保持が成り立っており、アーチフォームとコンクリートとの一体性が確保されていると考えられる。

c) 変位性状

設計荷重 (140 kN) 載荷終了時、鉄筋許容応力発生荷重 (600 kN) 載荷終了時までの弾性変形、残留変形は、AFタイプが従来タイプより小さい。また、図5に終局時の荷重変位曲線を示す。AFタイプは、従来タイプと同程度の剛性・耐荷力と約1.3倍の変形性能を有することが確認できた。

(3) 定点繰返し載荷試験結果

定点繰返し載荷試験では、200万回載荷後もアーチフォームの表面には、ひび割れおよび付着切れは全く見られず、剛性の低下もほとんどなかった。図6に示す断面内のひずみ分布は、200万回載荷後も直線に近い性状を示していることから、平面保持が成り立っており、アーチフォームとコンクリートとの一体性が確保されていると考えられる。

4. 輪荷重走行試験

(1) 試験概要

本工法を適用したRC床版の疲労耐久性を確認するため、大阪大学工学部の輪荷重走行試験を実施した。AFタイプ試験体は、図7に示すように床版支間1.5 mで、アーチフォームを含めた床版厚を180 mmとした。アーチフォームは床版断面の中に入れ有効断面とした。ハンチ付き従来タイプ床版を比較対象試験体とした。載荷プログラムは、図8に示すように147 kNから235 kNまでの階段状荷重漸増載荷方法とし、100万回載荷した。載荷状況を写真4に示す。

また、試験終了後、床版を断面方向に切断して輪荷重走行による疲労損傷の度合いを確認した。

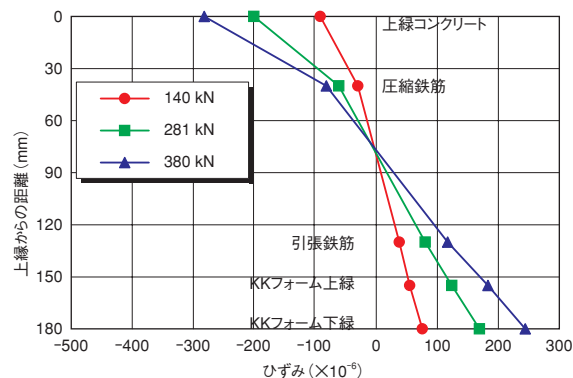


図4 AFタイプの断面内のひずみ分布

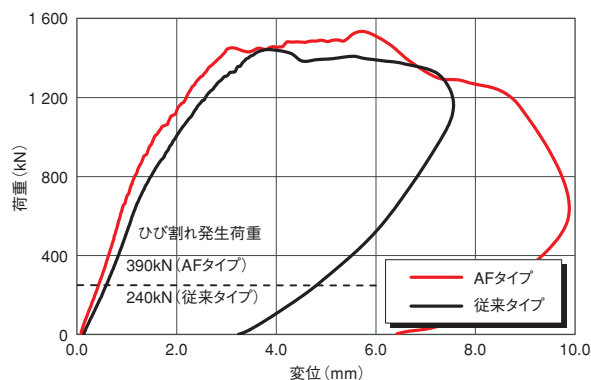


図5 終局時の荷重変位曲線図

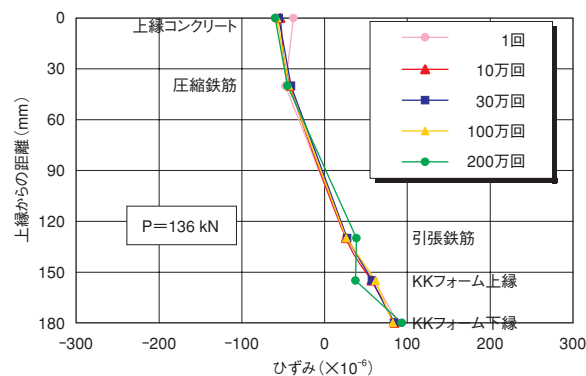


図6 断面内ひずみ分布

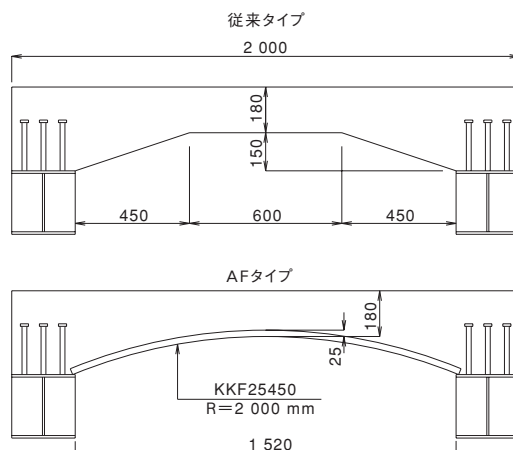


図7 輪荷重走行試験体断面形状

(2) 輪載荷走行試験結果

a) 変位性状

床版中央における活荷重（98 kN換算）たわみの経時変動を図9に示す。従来タイプは、試験の初期段階においてひび割れが発生したため、活荷重たわみが大きくなり、その後走行回数の増加に伴いひび割れが増えた。一方、AFタイプは、試験走行100万回まではほぼ一定のたわみで、従来タイプより明らかに異なるたわみを示し、100万回走行におけるたわみ増は、従来タイプよりかなり小さい。

b) ひび割れ発生状況

各载荷ステップ終了後のひび割れ状況は、図10に示す。まず、Step1終了時では、従来タイプは、橋軸方向と橋軸直角方向とともに、ひび割れが発生したが、AFタイプはひび割れの発生がなかった。Step2終了時では、従来タイプは、ひび割れの発生範囲が広がり、載荷面直下の幅約30 cmの範囲で、亀甲状にひび割れが発生したが、AFタイプは依然、ひび割れの発生がなく、Step3の21万回载荷時に初めて、ひび割れが1本生じた。最終的に、従来タイプは、床版方向のひび割れに鉛直方向の段差が確認されて、床版の梁状化の傾向が見られて、押し抜きせん断破壊寸前と推定される。

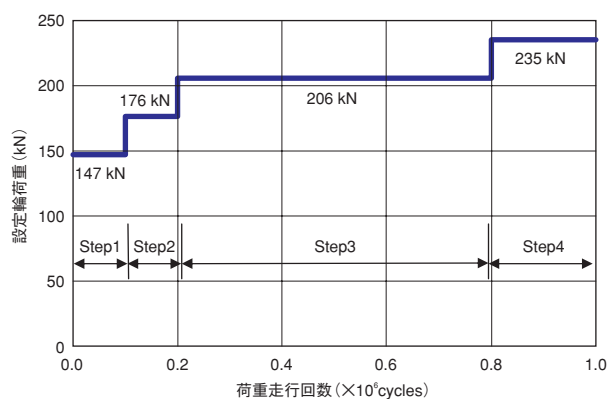


図8 载荷プログラム

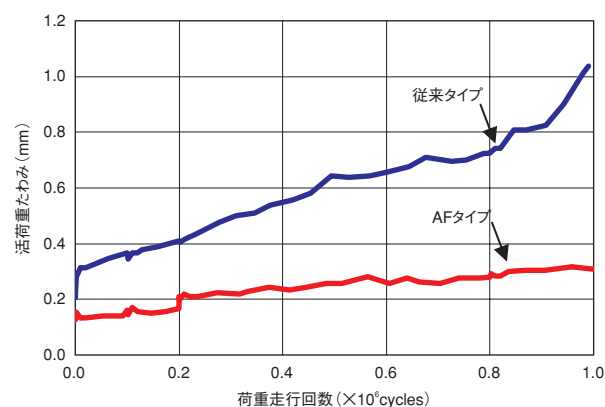


図9 活荷重たわみの経時変動

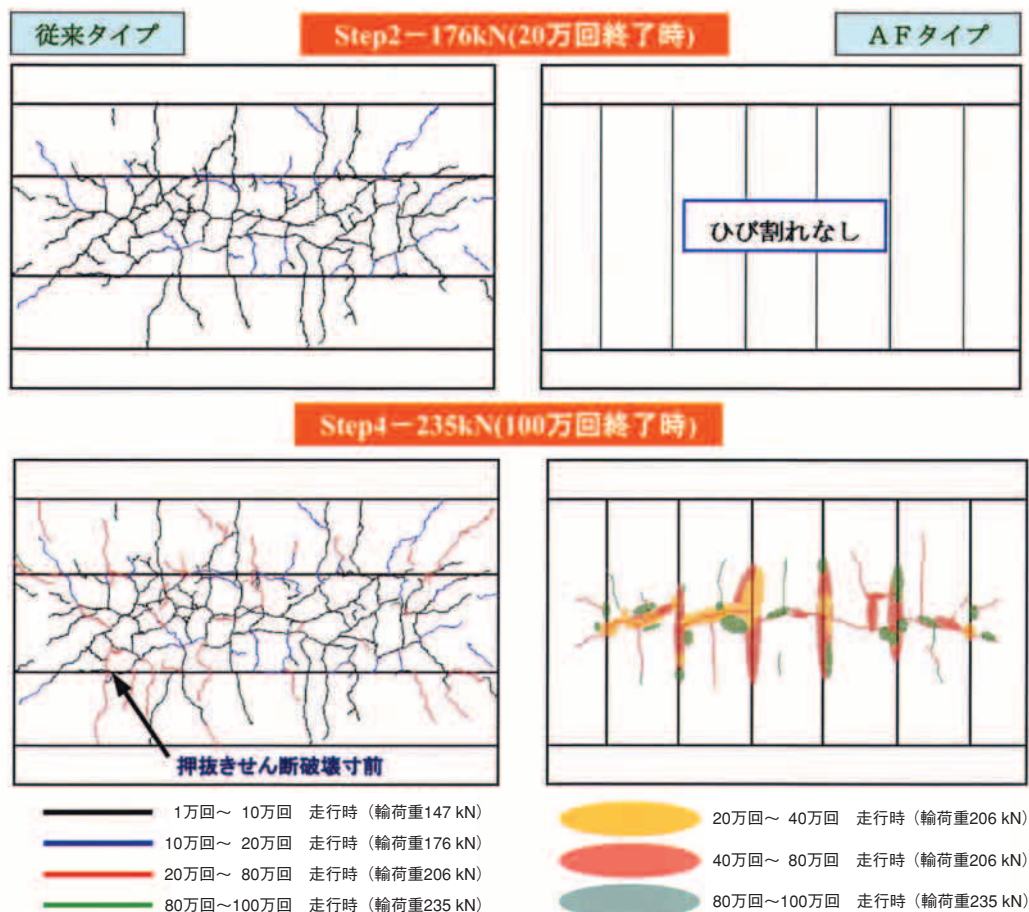


図10 ひび割れ状況



写真4 輪荷重走行試験載荷状況



写真5 試験体切断面状況

一方、AFタイプは、ひび割れが数本発生しただけであった。また、打音法によるアーチフォームの浮き検査の結果では、ひび割れおよび目地付近に幅3～4 cm程度の浮きを確認したものの、広い範囲においてアーチフォームが健全な状態で、载荷による劣化程度が軽微だと確認できた。

また、写真5に試験体切断面のひび割れ状況を示す。従来タイプは、斜め方向のひび割れが発生し、押抜きせん断破壊の寸前であると推察できる。一方、AFタイプは床版中央に曲げひび割れが1本生じた程度で、劣化損傷の度合いが軽微であった。活荷重たわみの経時変動とひび割れ発生状況から、本工法を用いた床版は従来工法と比べ、高い疲労耐久性を有していると考えられる。

5. 実橋への適用

静岡県榛原郡の荻間川に架ける港橋は、相良町の市街地に位置し、橋長75.6 m、幅員12.8 m、斜角84.5°の2径間連続プレビューン合成桁橋である。標準断面図を図11、断面詳細形状を図12に示す。本橋の床版工事は、工期短縮および経費節減を図るため、アーチフォーム工法を採用した。床版施工について、横桁部にKKフォーム平板を、中間床版、張出し床版にアーチフォームを使用した。

(1) 横桁部（中間横桁）施工

横桁部のKKフォームは、横桁断面内に配置するものとした。施工順序として、まず、底板KKフォームを下フランジ上面に載せ、次に、それを挟み込むように、側板KKフォームを配置した。ズレ防止と形状保持としてL型金具を使用した（写真6）。また、アーチフォームとの取り合いは、横桁側板に対してアーチフォームが上乗せになるように配置した。

(2) 中間床版施工

中間床版部のアーチフォームは、床版断面外に配置するものとした。今回、敷設時のアーチフォームのずれ防止として、桁の工場製作時に予めウェブの天端部に切欠きを設けた。そして、敷設後にアーチフォームの両端部

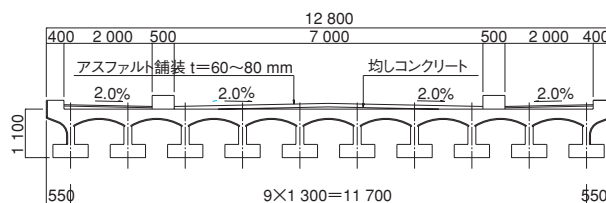


図11 標準断面図

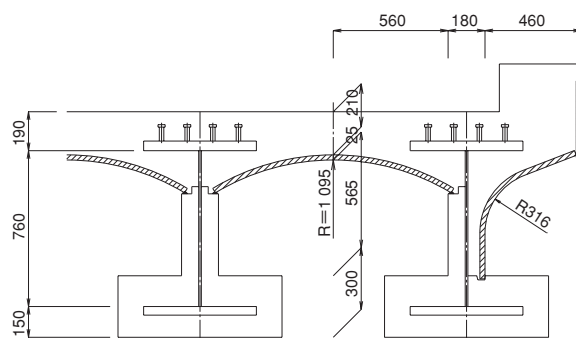


図12 断面詳細形状図



写真6 横桁部の施工状況

に無収縮モルタルを充填して固定した。また、打設時のノロ漏れ防止としてアーチフォームの嵌合目地部にシリコンシーリング材を充填して接合した。完成時の外観を写真7に示す。

中間床版部アーチフォームの施工フローを図13に示す。

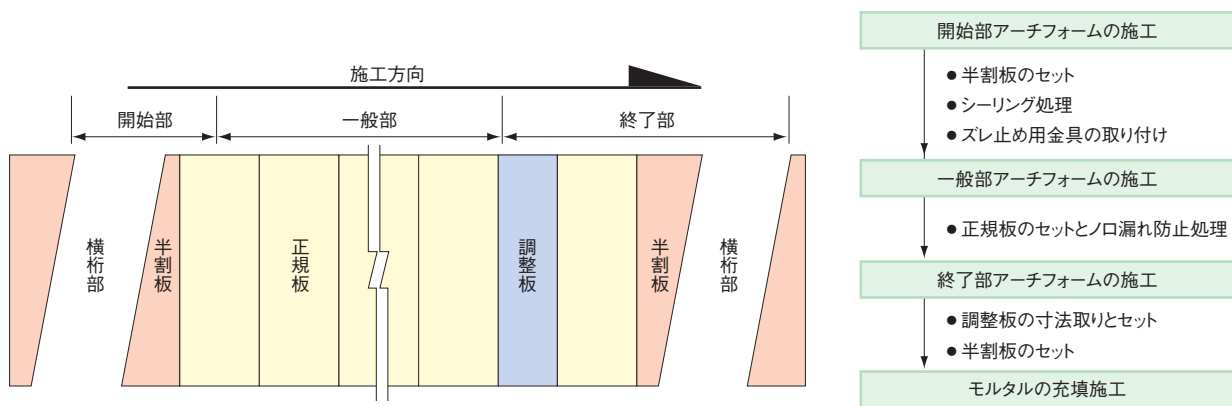


図13 アーチフォーム施工フロー



写真7 中間床版完成（下面）



写真9 張出し床版施工状況（外面）



写真8 張出し床版施工状況

(3) 張出し床版施工

今回、初めて張出し床版の施工に、ウェブと張出し床版の型枠を一体化した張出しアーチフォームを使用した。張出しアーチフォームは、ウェブ部では断面内に、床版部では断面外に配置するものとした。また、地覆の施工にも、KKフォームを側板として断面内に配置した。施工状況を写真8、9に示す。

張出しアーチフォームは、固定治具などの応力分配を考慮して2枚1組に平鋼板をビス止めすることでパネル化した。施工は、主桁架設完了後に、張出しアーチフォームを組立て、通りを確認し、予め設置していた専用スタッドジベルから溶接にて固定した。全てのパネルを設置完了した後、ウェブに無収縮モルタルをポンプにて打設した。

6. おわり

アーチフォーム工法の実用化を目指し、打設施工試験によるアーチフォームの性能評価、ならびに静的載荷試験と定点繰返し載荷試験による曲げ作用下の挙動の確認、輪荷重走行試験による疲労耐久性の検証を行った。その結果により、アーチフォーム工法を用いた床版は、合成床版としての所要機能を十分満足し、高い疲労耐久性を有していることがわかった。また、今回紹介した橋梁を含め、2橋（1600 m²）に適用し、現場作業の省力化に寄与できることが確認できた。

最後に、実施にあたり、多大なご指導ご協力をいただいた大阪大学大学院工学研究科の松井繁之教授ならびに静岡県御前崎土木事務所の方々に深く謝意を表すものです。

参考文献

- 1) 大西・徳岡・劉・松井：曲面状埋設型枠を用いたRC床版の疲労耐久性に関する研究，JCI第25回年次論文集，2003.
- 2) 西條，塩田，大槌，松井：曲面状埋設型枠を用いたRC床版施工の開発，第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.685-688,2003.10.
- 3) 劉・徳岡・佐野・小林：埋設型枠工法の開発（一体化試験），第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.541-544,2000.10.